

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.А. Бузова

(Самара, Филиал ФГУП НИИР-СОНИИР, mariabuz@mail.ru)

HYBRID METHODS OF MATHEMATICAL MODELING OF DIFFICULT ELECTRODYNAMICS SYSTEMS

М.А. Buzova

Современные технологии решения задач математического моделирования сложных электродинамических систем представлены большим разнообразием соответствующих методов, алгоритмов и программных средств. При проведении прикладных исследований подобные задачи встречаются весьма часто. Реальные технические объекты, как правило, представляют собой сложные радиотехнические системы, которые характеризуются компактным размещением излучающих, переизлучающих и сторонних тел с существенно различными конфигурациями и размерами. В этих условиях характеристики каждого излучающего элемента существенно зависят от других элементов, поэтому их совокупность должна моделироваться как единая сложная электродинамическая система.

Учет указанного выше обстоятельства становится особенно важным в свете постоянно возрастающих требований к достоверности результатов математического моделирования. При этом для существенного повышения точности результатов расчетов необходим максимально полный и точный учет геометрических и электрофизических характеристик всех составных частей соответствующей сложной электродинамической системы. Вполне очевидно, что этого можно добиться только путем повышения адекватности математических моделей и точности расчетных методов, а также улучшения их ресурсоемкости и эффективности. По мнению автора, современные математические модели, удовлетворяющие указанным выше требованиям, должны строиться на основе комбинирования известных математических моделей с сохранением их достоинств и нивелированием недостатков.

Данный доклад посвящен рассмотрению математических моделей сложных электродинамических систем и комбинированных методов моделирования на их основе. При адекватном описании сложных систем, состоящих из разнотипных рассеивателей, для каждого типа рассеивателей необходимо использовать свою, наиболее подходящую, математическую модель и соответствующий ей комбинированный метод моделирования. Поэтому рассмотрим далее два наиболее часто встречающихся типа рассеивателей, разработанные для них модели и комбинированные методы их моделирования.

Одним из распространенных типов рассеивателей, входящих в состав сложных электродинамических систем, являются линейные проводники различных радиусов. Для анализа таких проводников предложена математическая модель, основанная на решении системы интегральных уравнений Фредгольма первого и второго рода. Модель представляет собой систему интегральных уравнений, в которой уравнения первого рода имеют смысл граничных условий для проводников, радиус которых не превышает 0,01 от длины волны, а уравнения второго рода – для проводников, радиус которых более 0,01 от длины волны. На этой основе был разработан комбинированный метод моделирования таких систем, заключающийся в решении полученной системы уравнений [1]. Предлагаемый метод обеспечивает адекватное описание толстых проводников и, в то же время, обеспечивает выигрыш в вычислительных ресурсах по сравнению с использованием классических уравнений второго рода.

Вторым столь же распространенным типом рассеивателей, встречающимся при решении прикладных задач, являются слабо искривленные протяженные поверхностные рассеиватели с конечной толщиной. Из-за больших вычислительных ресурсов применение к данным рассеивателям традиционных математических моделей на основе интегральных уравнений первого рода является весьма проблематичным. Поэтому для моделирования таких объектов разрабатываются комбинированные методы на основе интегральных уравнений перво-

го рода и асимптотического метода физической оптики; на сегодняшний день подобные методы представлены достаточно широко [2].

Однако, существующие на сегодняшний день подходы имеют ряд существенных недостатков. А именно, в большинстве из них строго не учитывается взаимодействие между различными областями наложения граничных условий; кроме того, в таких подходах не учитывается реальная толщина рассеивателя: рассеиватели рассматриваются как бесконечно тонкие. Для нивелирования данных недостатков в работе предлагается подход, основанный на комбинировании интегральных уравнений второго рода и физической оптики с пересечением областей наложения граничных условий. Такая постановка задачи позволяет строго учитывать взаимодействие между областями интегральных уравнений и физической оптики, а также позволяет учитывать реальную толщину рассеивателя.

Наряду с указанными выше достоинствами предлагаемый подход имеет и существенный недостаток с точки зрения затраты вычислительных ресурсов, заключающийся в двукратном увеличении области определения искомой токовой функции по сравнению с интегральными уравнениями первого рода. Для устранения этого недостатка автором было предложено использовать новые интегральные уравнения второго относительно эквивалентных источников; при этом область определения искомой токовой функции остается такой же, как и в интегральных уравнениях первого рода. На этой основе было разработано две математические модели анализа такого типа рассеивателей [3].

В рамках первой математической модели эквивалентный источник протекает на воображаемой поверхности, проходящей по середине между реальными поверхностями рассеивателя, и полагается равным сумме токов, текущих по обеим сторонам рассеивателя. Модель представляет собой полную систему интегральных уравнений, одно из которых соответствует методу физической оптики, а другое – методу интегральных уравнений. На этой основе был разработан комбинированный метод моделирования таких рассеивателей, заключающийся в решении полученной системы уравнений.

Вторая математическая модель строится аналогично первой. Отличие ее состоит в том, что в качестве эквивалентного источника рассматривается один из токов, текущий или по освещенной, или по теневой стороне рассеивателя. При этом другой из токов вычисляется на основе найденного тока с учетом физико-оптического решения. На этой основе был также разработан комбинированный метод моделирования.

Для моделирования сложных электродинамических систем полученные уравнения и их системы объединяются в единую систему, и на этой основе строится общий алгоритм их математического моделирования.

В докладе будут представлены результаты различного рода численных и экспериментальных исследований, проводимых для апробации и проверки работоспособности предложенного алгоритма и комбинированных методов, входящих в его состав.

Литература

1. Бузова М.А. Применение комбинированного метода на основе уравнений Фредгольма первого и второго рода в задачах внутриобъектовой электромагнитной совместимости мобильных узлов специальной радиосвязи // Физика и технические приложения волновых процессов: Тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции / Под ред. В.А. Неганова, Г.П. Ярового. Казань, 2007. С. 208.
2. Jakobus U., Landstorfer F.M. Improved PO-MM hybrid formulation for scattering from three-dimensional perfectly conducting bodies of arbitrary shape // IEEE Trans. on Ant. and Prop. 1995. V. 43. № 2. P. 162 – 169.
3. Бузова М.А. Методы электродинамического моделирования эклектичных антенных систем // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 4. [Электронный ресурс] / <http://jre.cplire.ru/jre/apr12/4/text.pdf>.